

مروری بر مطالعات تغییر شکل دایمی روسازی های مسلح شده با ژئوگرید با روش های آزمایشگاهی، میدانی و تسریع شده

امین مودودی^۱

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

پست الکترونیکی: amin.modoudi@gmail.com

مهدی اکبری^{۲*}

^{۲*} استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

پست الکترونیکی: akbari@semnan.ac.ir

غلامعلی شفافبخش^۳

^۳ استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

پست الکترونیکی: ghshafabakhsh@semnan.ac.ir

کامران گنجی^۴

^۴ کارشناسی ارشد آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

پست الکترونیکی: kamraneganji@gmail.com

چکیده

برای ارزیابی عملکرد و کارکرد نصب ژئوگریدها در روسازی از روش های مختلفی می توان استفاده مانند روش های ارزیابی آزمایشگاهی (شامل آزمایش های خستگی، شیارشدگی، خزش و غیره)، مطالعه میدانی (اجرای مقطعی در قطعاتی از مسیرهای گوناگون)، آزمایش تسریع شده روسازی (ساخت پیست ها و مسیرهای تردد با مشخصات معلوم و استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی بزرگ مقیاس) و همچنین مدل سازی عددی (شامل انواع روش های اجزا محدود، تفاضل محدود و غیره) می توان اشاره کرد. هدف از مطالعه حاضر مرور نتایج برخی تحقیقات درباره تسلیح لایه های تثبیت شده و تثبیت نشده روسازی با ژئوگرید، اثربخشی ژئوگرید در کاهش تغییر شکل های دائم می باشد. از میان روش های مقیاس کامل، روش میدانی به دلیل تطابق با شرایط محدوده مورد مطالعه، شاید بهترین گزینه برای ارزیابی عملکرد روسازی های تسلیح شده با ژئوگرید باشد، بنابراین در صورت امکان بهره گیری از روش های آزمایش تسریع شده روسازی متناسب ترین روش برای تحلیل و ارزیابی انواع روسازی های تسلیح شده و تسلیح نشده می باشد.

واژه های کلیدی: تغییر شکل دائم، تسلیح روسازی، ژئوگرید، آزمایش روسازی تسریع شده، مدلسازی میدانی

۱- مقدمه

۱-۲- بررسی مطالعات آزمایشگاهی روسازی‌های

انعطاف پذیر تسلیح شده با ژئوگرید

در تحقیقی با استفاده از صفحات دایره‌ای و از طریق تعدادی آزمون آزمایشگاهی، روی عملکرد قشر بستر که با ژئوگرید مسلح شده و سنگدانه‌ها نیز در شرایط خشک (قوی) و اشباع (ضعیف) قرار داشتند، ارزیابی‌هایی صورت پذیرفت. طبق نتایج، مشخص شد که بخش‌های تسلیح شده با ژئوگرید قبل از شکست، تحمل بار بیشتری در سیکل‌های بارگذاری دارد (که به صورت عمق ۲۰ میلی متر تعریف شده است). بررسی تاثیر ژئوگرید نیز مورد بررسی قرار گرفت و معلوم شد که نصب موثر ژئوگرید بسیار مهم است (Abd El Halim ۱۹۸۷). بر اساس نتایج این تحقیق، دیگر محققان نسبت به توسعه نمودار طراحی اقدام کردند که تبدیل لایه تسلیح نشده با تسلیح شده را انجام می‌دهد (Carroll et al. 1987). همانطور که در (شکل ۱) نشان داده شده است نقطه عطف نشان‌دهنده حداقل الزامات ضخامت می‌باشد، در این نمودار طراحی از نتایج تجربی برای یک ژئوگرید خشک استفاده شده است (Webster 1993). یک برنامه آزمایشی جامع توسط پژوهشگرانی با هدف تلاش برای درک بهتر مکانیسم‌های ژئوگرید تسلیح کننده انجام شد. این تست در جعبه‌ای با ابعاد ۴/۵×۱/۸×۰/۹ متر مکعب، مورد آزمایش قرار گرفت. بارهای سیکلی از طریق صفحه فولادی به قطر ۳۰/۵ سانتیمتر اعمال شدند. متغیرهای مربوط به برنامه تست شامل: ضخامت پایه، مقاومت لایه بستر و محل قراردادن ژئوگرید تسلیح کننده بودند. تغییر شکل سطح، تنش عمودی روی بستر و کرنش‌های ایجاد شده در ژئوگرید در فواصل تکرار بار اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تسلیح با ژئوگرید

تحقیقات بسیاری با استفاده از مطالعات تجربی و تحلیل‌های عددی برای ارزیابی مزایای تسلیح کننده‌های ژئوسنتتیکی صورت پذیرفته است، اما کمتر میان آن تحقیقات مقایسه‌ای صورت گرفته است. ژئوگرید، به دلیل نوع طراحی آن، امکان جداسازی کامل قشر اساس و لایه بستر را فراهم نمی‌کند. البته نصب ژئوگرید بین لایه اساس و بستر روسازی، می‌تواند باعث ایجاد محدودیت نفوذ سنگدانه‌های درشت به لایه بستر شود. تعمیم مسیر اصلی به لایه بستر در مقاطع مسلح ژئوگریدی راه، در برخی آزمون‌های صحرایی مورد استناد قرار گرفته است و تست‌های بارگذاری روسازی نیز در آزمایشگاه صورت پذیرفته است. استاندارد آزمایش تسریع شده روسازی (APT)^۱ برای توصیف تغییر شکل دائمی روسازی استفاده می‌شود. در بین تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده برای بررسی اثربخشی نصب ژئوگرید در روسازی‌های انعطاف پذیر عمدتاً ژئوگریدها را در فصل مشترک لایه‌های اساس و بستر روسازی در مکان‌های مختلف مورد آزمایش قرار دادند. افزودن ژئوگرید میان لایه اساس و بستر در روسازی‌های انعطاف پذیر، می‌تواند عمر روسازی را بهبود بخشد و سبب کاهش ضخامت روسازی با عملکردی معادل با شرایط قبل از کاهش ضخامت شود. این مقاله به مرور مطالعات تجربی و میدانی متداول در مورد تسلیح ژئو سنتتیکی روسازی‌های انعطاف پذیری می‌پردازد که توسط دیگر محققان انجام شده است.

۲- مواد و روش‌ها

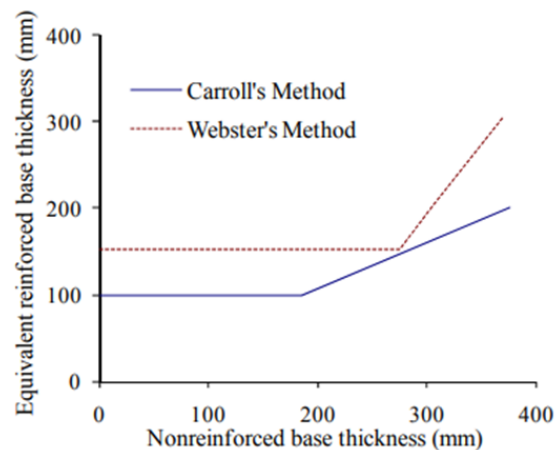
^۱ Accelerated Pavement Testing (APT)

جایگاهی عمودی خطی اندازه گیری شدند. نتایج مشخص کرد که نصب ژئوتکستایل و ژئوگرید، بهبود قابل توجهی در عملکرد بخش های مختلف روسازی واقع بر بستر با CBR ضعیف، ایجاد می کند. البته مکانیسم های تسلیح کنندگی ژئوتکستایل و ژئوگرید با هم متفاوت بوده و ژئوتکستایل ها کارکرد جداسازی بین سنگدانه لایه روسازی و خاک بستر را بهتر از ژئوگرید تامین می کند (Al-Qadi et al. 1994).

مونتانلی^۲ تلاش کردند تا نقش ساختاری ژئوگریدها در سیستم های روسازی را مورد مطالعه قرار دهند. آزمون های آزمایشگاهی با استفاده از بار دایره ای اجرا شدند و در آن، لایه بستر روسازی دارای CBR بین محدوده ۱ تا ۱۸ بودند. به منظور تامین سازگاری با روند طراحی AASHTO، آنها یک ضریب لایه ای برای بستر سنگدانه ای تعریف کردند که معادل بود با نسبت ضرایب لایه بستر تسلیح نشده به تسلیح شده. بسته به مقادیر CBR بستر روسازی و نسبت به داده های تجربی، این ضریب لایه ای بین ۱/۵ تا ۲ متغیر بود. این ضریب لایه ای می تواند به عنوان یک ضریب فاکتور برای محاسبه پارامتر مهم عدد سازه ای (SN)^۳ برای روش طراحی روسازی AASHTO^۴ لحاظ شود (Montanelli et al. 1997).

پرکینز^۵، از جعبه ای بتن مسلح با ابعاد ۲×۲×۱/۵ متر مکعب برای آزمایش استفاده شد و در آن، از یک صفحه فولادی با قطر ۳۰۵ میلیمتر برای اعمال بارهای دایره ای با نیروی ۴۰ کیلونیوتن استفاده شد. در مجموع، ۲۰ نمونه آزمایشی با اعمال تغییراتی در نوع محصول ژئوگرید و ژئوتکستایل واقع بر بستر قوی ایجاد شدند. تغییر شکل سطح جاده، تغییرات تنش و کرنش در خاک، و همچنین تغییرات دما و رطوبت با

می تواند تعداد کاربردهای بار را با ضریب ۳ افزایش دهد. کاهش ضخامت پایه از ۲۵ تا ۵۰ درصد با افزودن ژئوگرید در پی داشت. پیشنهاد شد که ژئوگرید در فصل مشترک لایه اساس و بستر روسازی برای بخش های پایه نازک و نزدیک نقطه میانی پایه های ضخیم تر قرار داده شوند (Haas et al. ۱۹۸۸).



شکل ۱- شاخص طراحی برای ضخامت لایه اساس پیشنهادی توسط روش های کارل و وبستر

القادی^۶، برای شبیه سازی احداث یک راه فرعی متداول واقع بر یک بستر ضعیف، بخش های روسازی را در جعبه ای با ابعاد ۱/۸×۱×۳ متر مکعب، مشابه یکی از معابر معمولی ویرجینیا، لایه ریزی کردند. با در نظر گرفتن ضخامت متغیر برای لایه اساس و با استفاده از مقادیر CBR^۱ متفاوت برای لایه بستر، نقش لایه های ژئوتکستایل و ژئوگرید مورد ارزیابی قرار گرفتند. بارهای سیکلی با استفاده از یک صفحه فولادی به قطر ۳۰۰ میلی متر اعمال شدند. نمونه ها با نصب ابزارهای مبدل

۴ American Association of State Highway and Transportation Officials
۵ Perkins

۶ Al-Qadi
۱ California Bearing Ratio
۲ Montanelli
۳ Structural Number (SN)

مقیاس کامل می‌پردازد. در تحقیقی که روی معبری چهارخطه با روسازی انعطاف‌پذیر صورت گرفت، هر مسیر به چهار بخش مجزا با چهار لایه مختلف تقسیم و ساخته شدند. ضخامت لایه‌ها عبارت بودند از: ۱۵۲، ۲۵۴، ۳۰۵ و ۴۵۷ میلی‌متر. اندازه‌گیری عمق‌ها با هدف اندازه‌گیری ترک‌خوردگی و تغییر شکل در عمق‌های مختلف انجام شد. آزمایش‌های میدانی روی روسازی‌های انعطاف‌پذیر واقع بر بستر با CBR معادل ۳ تا ۸ و به منظور ارزیابی شیارشدگی انجام شد (Webster 1993).

پرنکینز، در مجموع چهار قطعه آزمایشی مقیاس کامل ساخته و توسط شبیه‌ساز خودروی سنگین (HVS)^۲ تحت بار ترافیکی قرار داد. هر یک از چهار قطعه دارای ۹/۹۱ متر طول و ۳/۱۸ متر عرض بود. یک بار چرخ یک‌جهته معادل ۴۰ کیلونیوتن در مرکز هر قطعه اعمال شد. هر چهار قطعه دارای چهار لایه مشخص است: ۷۵ میلی‌متر بتن آسفالتی، ۳۰۰ میلی‌متر اساس سنگدانه‌ای، ۱/۳۷ متر خاک با طبقه‌بندی A-۶ و ۱/۳۵ متر خاک با طبقه‌بندی A-2-4. دو لایه ژئوگرید و یک لایه ژئوتکستایل بالای لایه بستر و در مابین چهار لایه نصب شدند. پروفایل‌های سطح راه در میان فواصل بارگذاری ترافیکی، اندازه‌گیری شدند. تنش‌های قائم در خاک بستر برای هر بخش اندازه‌گیری شدند و تنش‌های سه‌بعدی نیز در یک نقطه از لایه اساس اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کرنش در عمق‌های مختلف قطعات روسازی از سیم‌پیچ‌های کرنش‌سنج استفاده شد. براساس نتایج مشخص شد که هر سه لایه ژئوستنتیک بهبودهای قابل توجهی در عملکرد شیارشدگی روسازی داشته‌اند. تفاوت قابل توجهی در اندازه‌گیری تنش و کرنش در قطعات تسلیح‌نشده و تسلیح‌شده مشاهده شد. تفاوت‌ها میان قطعات تسلیح‌شده

استفاده از ابزار دقیق‌های مختلف اندازه‌گیری شدند. ژئوگریدها بهبود قابل توجهی را برای روسازی واقع بر بستر با CBR معادل ۱/۵ نشان دادند، در حالی که برای نمونه‌های دارای بستر قوی‌تر (با CBR معادل ۲۰)، بهبود عملکرد قابل توجهی ایجاد نشد. پژوهش نشان داد که ژئوگریدها نسبت به ژئوتکستایل بهتر عمل کردند. موقعیت قرارگیری ژئوگرید روی لایه اساس ضخیم‌تر، سبب ارتقای عملکرد آن شد (Perkins 1999).

لنگ^۱، مجموعه‌ای از آزمون‌های آزمایشگاهی در جعبه‌ای با ابعاد ۱/۵×۱/۵×۱/۳۵ مترمکعب انجام شد تا ویژگی‌های لایه‌های تسلیح‌شده ژئوگریدی واقع بر بستر ضعیف را بررسی کند. بارهای تکراری از طریق صفحه مدور ۳۰۵ میلیمتری با فشار تماس ۵۰۰ کیلوپاسکال اعمال شدند. تغییر شکل سطح و نحوه توزیع فشار عمودی در سطح مشترک بین اساس سنگدانه‌ای و بستر خاکی در طول آزمایش کنترل شدند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تقویت ژئوگرید تغییر شکل سطحی را کاهش داده، توزیع فشار را بهبود بخشیده و تخریب اساس سنگ‌دانه‌ها را کاهش می‌دهد (Leng et al. 2002).

۲-۲- بررسی تحقیقات میدانی روسازی‌های انعطاف‌پذیر تسلیح‌شده با ژئوگرید

در حالی که آزمایش‌های مقیاس‌بندی‌شده آزمایشگاهی، اطلاعات کمی را درباره مزایای تسلیح‌کننده ژئوگریدی فراهم می‌کنند، تحقیقات درباره روسازی‌های انعطاف‌پذیر تسلیح‌شده با مقیاس کامل (واقعی) نتایج همبستگی بیشتری با عملکرد واقعی روسازی دارند. این بخش، به مروری مطالعات انجام‌شده روی روسازی‌های انعطاف‌پذیر تسلیح‌شده در

^۲ Heavy Vehicle Simulator (HVS)

^۱ Leng

فشار آب منفذی و حرارت نصب شدند. برای شبیه سازی شرایط بارگذاری میدانی، یک بار ۴۴ کیلونیوتنی یک طرفه، توسط چرخ جفت لاستیک (تان دوم) بکار گرفته شد. نتایج نشان دادند که ژئوگرید در کاهش تنش های روسازی موثر هستند. بر اساس اندازه گیری های میدانی و مشاهداتی، یک مکانیسم تسلیح پیشنهاد شد که در کاهش تغییر شکل برشی افقی سنگ دانه ها، به ویژه در جهت ترافیک موثر است. برای یک روسازی انعطاف پذیر با یک اساس سنگ دانه ای نازک، موقعیت بهینه قرارگیری ژئوگرید در فصل مشترک بین لایه اساس و بستر قرار دارد. برای یک لایه اساس ضخیم تر، موقعیت بهینه ژئوگرید در بالای قسمت یک سوم لایه قرار دارد (Al-Qadi et al. 2008).

هنری^۳، در تحقیقی با عنوان آیا تسلیح ژئوستنتیکی، عملکرد روسازی را ارتقا میدهد یا خیر؟ بطور معمول در ساخت بزرگراه ایالتی، خصوصاً با یک لایه اساس ضخیم تر و یک لایه HMA ضخیم تر، در مقایسه با اکثر مطالعات قبلی سودمندتر است. دو لایه مخلوط آسفالتی گرم و دو لایه اساس به ترتیب با ضخامت های ۱۰۲ و ۱۵۲ میلی متر (برای لایه آسفالتی) و همچنین ۳۰۰ میلی متر و ۶۰۰ میلی متر (برای لایه اساس) تهیه شدند. در مجموع ۸ قطعه با مقیاس کامل با ترکیب مخلوط آسفالتی گرم و ژئوگرید با لایه اساس ساخته شدند. آزمایش های تغییر مکان سنج سقوط وزنه (FWD)^۴ نشان داد که مقدار مدول بستر از ۱۰۹ مگاپاسکال به ۱۳۸ مگاپاسکال افزایش یافته و برای کاهش سختی تا مقدار حدی ۳۵ مگاپاسکال، آب به لایه بستر افزوده شد. سنسورها برای نظارت بر محتوای مقدار رطوبت خاک در طول پروژه مورد استفاده قرار گرفتند (Henry et al. 2009).

مشهود بود اما نسبت به هم، قابل توجه نبود. بر اساس اندازه گیری های تنش و کرنش، مشخص گردید که مکانیزم تسلیح کنندگی غالب شامل کاهش کرنش افقی در پایین لایه اساس و توزیع گسترده تنش قائم در بالای لایه بستر می شود (Perkins 2002).

آران^۱، عملکرد بلندمدت تسلیح کنندگی ژئوگرید در روسازی های انعطاف پذیر را مورد مطالعه قرار داد. برای این منظور، در سال های ۱۹۸۶ و ۱۹۹۰ میلادی، دو قطعه از راه برای ارزیابی عملکرد ژئوگرید تسلیح شدند. در قطعه ای که در سال ۱۹۸۶ ساخته شد، ژئوگرید در عمق ۲۵/۴ سانتیمتری لایه اساس قرار گرفت. یک لایه مخلوط آسفالتی گرم اضافی به ضخامت ۵ سانتیمتر در قطعه کنترل اجرا گردید. برای قطعه ای که در سال ۱۹۹۰ میلادی ساخته شد، ژئوگرید در پایین یا وسط یک لایه اساس ۱۰ سانتیمتری قرار داده شد. قطعه کنترل شامل بستر با ضخامت ۱۵ سانتی متر می باشد که با آهک تثبیت شده است. ارزیابی عملکرد در سال های ۱۹۹۱، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ انجام شد. ارزیابی کوتاه مدت نشان داد که هیچ تفاوت قابل توجهی در آزمون ها مشاهده نگردید اما در ارزیابی بلندمدت، عملکردها متفاوت بودند. افزایش اثربخشی ژئوگرید هنگامی که افزودن آهک در لایه های پایین تر انجام گرفته بود، بیشتر مشهود شد (Aran 2006).

القادی، در مجموع ۹ قطعه با مقیاس کامل روی یک بستر ضعیف با CBR معادل ۴ برای بررسی اثربخشی در روسازی های انعطاف پذیر با حجم پایین ساخته شد. قطعات مورد آزمایش در برگیرنده دو ژئوگرید، سه لایه اساس و دو لایه ضخیم مخلوط آسفالتی گرم (HMA)^۲ می شوند. ۱۷۳ ابزار دقیق برای اندازه گیری تنش، کرنش، انحراف، رطوبت،

^۳ Henry

^۴ Falling Weight Deflectometer (FWD)

^۱ Aran

^۲ Hot Mix Asphalt

پیدا نشد، زیرا در این رو سازی کرنش به اندازه کافی وجود نداشت تا ژئوگرید را فعال کند (Cox et al. 2010).

۲-۳- بررسی آزمایش تسریع شده روسازی (APT) روی روسازی های انعطاف پذیر تسلیح شده با ژئوگرید

آزمایش تسریع شده روسازی (APT) به عنوان شبیه ساز تاثیرات بلندمدت تعریف می شود. شرایط بارگذاری روی سازه های روسازی با استفاده از بارگذاری چرخ در حالت کنترل شده و در یک دوره زمانی فشرده صورت (Hugo and Martin 2004) در مقایسه با ارزیابی های میدانی بلندمدت، مزایای آزمایش APT عبارتند از توانایی انجام آزمون های عملکرد با هزینه های نسبتاً پایین در دوره زمانی کوتاه و توانایی کنترل شرایط بارگذاری و محیطی (Metcalf 2006). شرایط آزمایش می تواند محیط های داخلی، بیرونی، محیط های کنترل شده، دماهای تغییر یافته و رطوبت را شامل شود. اگرچه ماهیت APT متفاوت است، اما این امکانات می توانند به دو دسته اصلی برحسب اندازه بار چرخ تقسیم شوند که شامل APT مقیاس کامل و APT کوچک مقیاس می شوند. APT مقیاس کامل بار ترافیکی را در محدوده بار یا بالاتر از حد مجاز بار قانونی اعمال می کند، در حالی که بار چرخ در APT کوچک مقیاس معمولاً پایین تر از حد مجاز بار است (Hugo and Martin 2004). با توجه به شرایط بارگذاری، دو نوع تجهیزات APT مقیاس کامل وجود دارد: راه/خط آزمایش و تجهیزات بار متحرک مقیاس کامل. خط های آزمایش معمولاً در معرض بار ترافیک واقعی یا خودروهای واقعی قرار دارند. راه/خط آزمایش شرایط آزمون واقع گرایانه تری را فراهم می کند، در حالی که هزینه

جهت اندازه گیری تغییر شکل قائم و افقی از حلقه های القایی الکترومغناطیسی استفاده شد. کرنش های الاستیک و دایمی هم در آسفالت و هم در خاک اندازه گیری شدند. برای هر قطعه، ۷ سلول فشار در سه جهت عمود نصب شدند. ژئوگریدها برای اندازه گیری کرنش های طولی و عرضی در بالا و پایین شبکه ها بکار گرفته شدند. از شبیه ساز خودروی سنگین، برای اعمال بار ترافیکی یک طرفه با فشار چرخ ۶۸۹/۵ کیلو پاسکال استفاده شد. بر اساس نتایج آزمایش ها، مشخص شد که بخش های تسلیح شده ژئوگرید عموماً قادر به تحمل بار ترافیکی بیشتر در روسازی ها هستند. یک استثنا این بود که تسلیح کننده ژئوگریدی برای قطعات با یک لایه اساس ضخیم تر (۶۰۰ میلیمتر) و لایه های مخلوط آسفالتی گرم ضخیم تر (۱۵۰ میلی متر) مزایایی را در بر ندارد. مشخص شد که افزودن ژئوگرید، کرنش های الاستیک قائم هریک از این لایه ها را کاهش نمی دهد. کشش دایمی در ژئوگرید در عمق سطح شیار ایجاد شد (Henry et al. 2009).

کاکس^۱، در تحقیقی به بررسی و تشخیص رفتار تغییر شکل روسازی های انعطاف پذیر تسلیح شده ژئوسنتتیکی تحت بارگذاری دینامیکی پرداخت. آزمایش های بار صفحه ای سیکلیک (تکراری) (CPL) با استفاده از یک لرزاننده بر روی بخش های آزمایشی روسازی انجام شد که برای مطالعه قبلی ساخته شده بودند. یک آرایه از LVDTs برای اندازه گیری انحراف سطح دایم و الاستیک به عنوان تابعی از تکرار بار استفاده شد. نتایج حاصله از آزمایش ها بر روی روسازی ها با افزایش ضخامت سطح پایه، عملکرد روسازی بهبود یافته را نشان داد. با این حال، هیچ تفاوت آشکاری در عملکرد روسازی بین بخش های تقویت شده و تقویت نشده

^۲ Cyclic Plate Load (CPL)

^۱ Cox

مسیر اصلی مرکز ملی فناوری آسفالت (NCAT) در سال ۲۰۰۰ در اپلیکای آلاباما ساخته شد. این یک آزمایشگاه تسریع شده به صورت حلقه بسته است که شامل ۴۶ قطعه آزمایشی با طول کل ۲/۷ کیلومتر است. قطعات آزمایشی توسط کاروانی از خودروهای کشنده و یدک بارگذاری می شوند. هیچ کنترل محیطی انجام نمی شود اما دمای روسازی، شرایط بارندگی و رطوبت نسبی به طور مداوم کنترل می شود (Willis et al. 2009).

برنامه شبیه ساز بار متحرک (سیار) تگزاس (TxMLS) در سال ۱۹۹۵ آغاز شد. TxMLS دارای شش محور پشت سر هم و استاندارد در مقیاس کامل می باشد که در یک جهت حرکت می کند. بارگذاری وارده شامل محور ۱۵۰ کیلونیوتی و فشار چرخ ۶۹۰ کیلوپاسکال (۱۰۰psi) است. TxMLS می تواند ۶۰۰۰ بار محور را در ساعت با استفاده از سرعت اسمی ۱۸ کیلومتر در ساعت عبور دهد (Chen and Hugo 1998) از TxMLS برای بررسی معادل خسارت بارگذاری، تعیین عمر باقی مانده روسازی و تاثیر آن بر دستورالعمل های بازسازی، بررسی مصالح جدید روسازی و مطالعه اندرکنش اجزای کامیون و روسازی استفاده شده است. ابزارها و تجهیزاتی مانند جابجایی سنج چند عمقی (MDD)^۴، تغییر مکان سنج سقوط وزنه (FWD)^۵، تحلیلگر لرزه ای سیار روسازی (PSPA)^۶ و تحلیل طیفی امواج سطحی (SASW)^۷ در این برنامه برای نظارت بر شرایط روسازی به کار گرفته می شود (Hugo et al. 1999).

احداث آنها معمولاً زیاد می باشد. دسته دیگر APT مقیاس کامل، از تجهیزات بار متحرک مانند شبیه ساز خودروهای سنگین استفاده می کند.

اداره حمل و نقل مینه سوتا، پروژه تحقیقاتی جاده مینه سوتا را در سال ۱۹۸۹ برای بررسی طراحی ها و فرآیندهای راه سازی، مصالح مورد استفاده و تأثیر بارهای ترافیکی و آب و هوا روی روسازی آغاز کرد. تسهیلات آزمایشی جاده شامل دو جاده آزمایشی است (Newcomb et al. 1990). یک بزرگراه بین المللی به طول ۵/۶ کیلومتر که در کنار آزادراه I-۹۴ ساخته شده و توسط ترافیک واگرا از آن آزادراه، تحت بارگذاری قرار می گیرد، و یک حلقه با حجم ترافیک کم و به طول چهار کیلومتر تحت شرایط بارگذاری کنترل شده. بیش از ۴۵۰۰ سنسور الکترونیکی مختلف برای اندازه گیری پاسخ بار روسازی و نظارت بر عوامل محیطی تعبیه شده است. به سنسورهای پاسخ بار و سنسورهای محیطی با توجه به نیاز اندازه گیری ها، انواع مختلفی از سنسورهای پاسخ بار نصب شده است که عبارتند از: کرنش سنج، مبدل تغییرات تفاضلی خطی (LVDT)^۱، برش سنج، شتاب سنج، فشار سنج سلول خاک و انحراف سنج. سنسورهای مختلف محیطی مانند سلول فشار آب منفذ، ردیاب ضریب مقاومت، ترموکوپل، بازتاب سنج دامنه زمانی (TDR)^۲ نیز برای نظارت مداوم بر اثرات محیطی در قطعه مورد نظر نصب شده است که فرصتی منحصر به فرد برای کسب بینش در مورد عملکرد و دوام سنسورهای مختلف در روسازی محسوب می شوند (Baker et al. 1994).

^۵ Fall Weight Displacement (FWD)

^۶ Portable Seismic Pavement Analyzer (PSPA)

^۷ Spectral Analysis of Surface Waves (SASW)

^۱ Linear Variable Differential Transformer (LVDT)

^۲ Time Domain Reflectometer (TDR)

^۳ Texas Mobile Load Simulator (TxMLS)

^۴ Multi-Depth Deflectometer (MDD)

۳- بحث و نتیجه گیری

تا از روش‌های آزمایش روسازی تسریع شده یا مطالعات میدانی بهره گرفته شود. از میان روش‌های مقیاس کامل، روش میدانی به دلیل تطابق با شرایط محدوده مورد مطالعه، شاید بهترین گزینه برای ارزیابی عملکرد روسازی‌های تسلیح شده با ژئوگرید باشد اما قطعاً هزینه‌های گزاف و مدت زمان طولانی این گونه طرح‌ها، مانع بسیار بزرگی بر سر راه انجام آنها خواهد بود. بنابراین و در صورت امکان، بهره‌گیری از روش‌های آزمایش تسریع شده روسازی شاید متناسب‌ترین روش برای تحلیل و ارزیابی انواع روسازی‌های تسلیح شده و تسلیح نشده می‌باشد. هر چند تحقیقات مختلفی روی روسازی انعطاف‌پذیر مسلح ژئوگریدی صورت پذیرفته است اما به دلیل پیچیدگی‌های بسیار زیاد رفتار روسازی‌های آسفالتی، انجام تحقیقات جدید روی آن هنوز مورد نیاز می‌باشد.

۴- منابع مورد استفاده

[1] Abd El Halim, A.O. 1983. Geogrid Reinforcement of Asphalt Pavements, Ph.D. Dissertation, University of Waterloo, Ontario, Canada.

[2] Carroll, R.G., Jr., Walls, J.G., and Haas, R. 1987 "Granular base reinforcement of flexible pavements using geogrids." Proceedings of Geosynthetics, St. Paul, MN: IFAI, 46-57.

[3] Webster, S.L. 1993. "Geogrid reinforced base course for flexible pavements for light aircraft, test section construction, behavior under traffic, laboratory tests, and design criteria." Technique Report GL-93-6, USAE Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

[4] Haas R., Wall, J., and Carroll, R.G. 1988 "Geogrid reinforcement of granular bases in flexible pavements." Transportation Research Record 1188, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 19-27.

ژئوگرید دارای ساختار شبکه‌ای با حفره‌های باز و بزرگ است و موجب درگیر شدن ذرات خاک یا مصالح سنگی با ژئوگرید شده و در نتیجه، مجموعه ژئوگرید و مصالح اطراف آن از خاصیت قفل شدن خوبی برخوردار خواهد شد. از این رو، اصلی‌ترین عملکرد ژئوگرید، تسلیح است. با توجه به زمینه‌های متعدد یکسان با ژئوتکستایل، روال کار تسلیح ژئوگرید موازی بخش‌های تسلیح ژئوتکستایل خواهد بود که برخی از آنها عبارت هستند از: تسلیح لایه اساس و رویه در راه‌های روکشی شده (رویه‌دار)، تسلیح لایه اساس در راه‌های روکشی نشده (فاقد رویه آسفالتی یا بتنی)، تسلیح شیب‌ها و خاکریزها، تسلیح دیوارهای حائل خاک مسلح، تسلیح بستر و روکشی پوشش خاک‌ها (به منظور افزایش ظرفیت باربری). اثربخشی نصب ژئوگرید در روسازی‌های انعطاف‌پذیر در مطالعات متعددی به اثبات رسیده است و مطالعات جدید نیز روی جنبه‌های مختلف کاربرد آن در پروژه‌های مختلف صورت می‌پذیرد. مطالعات تسلیح روسازی با ژئوگریدها را می‌توان در چهار دسته کلی تفکیک نمود که شامل روش‌های آزمایشگاهی، مطالعه میدانی، مدلسازی آزمایش تسریع شده روسازی و همچنین مدلسازی عددی می‌شوند.

در مطالعات آزمایشگاهی عمدتاً از نمونه‌های کوچک مقیاسی بهره گرفته می‌شود که ابعاد آن در حد نمونه‌های استوانه‌ای کوچک یا جعبه‌های با حجم حدود ۳ تا ۷ مترمکعب می‌باشد که تحت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی و به صورت انواع نیروهای ثابت یا متحرک اعمال می‌شوند. هر چند انجام این آزمایش‌ها بسیار مقرون به صرفه‌تر است اما با توجه به ابعاد نمونه‌ها، شاید نتوان به راحتی، نتایج تحقیقات را به داده‌ها و شرایط واقعی تعمیم داد. از این رو تا حد امکان سعی می‌گردد



11th International Conference on Sustainable Development & Urban Construction

[13] Cox, B.R., McCartney, J.S., Wood, C.M., Curry, B. 2010. "Performance evaluation of full-scale geosynthetic-reinforced flexible pavements using field cyclic plate load tests." TRB 2010 Annual Meeting CD-ROM, Transportation Research Board, Washington, D.C..

[14] Hugo, F., and Martin, A. E. 2004. "Significant findings from full-scale accelerated pavement testing." NCHRP Synthesis of Highway Practice No. D.C.

[15] Metcalf, J.B. 1996. "Application of Full-scale Accelerated Pavement Testing." NCHRP Synthesis of Highway Practice No. 235, TRB, National Research Council, Washington D.C.

[16] Newcomb, D. E., Johnson, D.M., Kaker, H.B., and Lund, S.M. 1990. "Minnesota Road Research Project: work plan for research objectives." Report MN-RC-2007-16, Minnesota Department of Transportation, 395 John Ireland Blvd., St.Paul, MN 55155.

[17] Baker, H. B., Buth, M. R., and Van Deusen, D. A. 1994. "Minnesota Road Research Project load response instrumentation installation and testing procedures." Report No. MN/PR-94/01, Minnesota Department of Transportation, 395 John Ireland Boulevard, St. Paul, MN 55155.

[18] Willis, R., Timm, D., West, R. 2009. "Phase III NCAT test track findings." NCAT Report 09-08, 277 Technology Parkway, Auburn, AL 36830.

[19] Chen, D.H., and Hugo, F. "Full-scale accelerated pavement testing of Texas Mobile Load Simulator." Journal of Transportation Engineering, Vol.124 (5), 1998, 479-490.

[20] Hugo, F., Fults, K., Chen, D.H., and Smit, A. "An overview of the TxMLS program and lessons learned." 1st International Conference on Accelerated Pavement Testing. Reno, Nevada, USA, Oct. 18-20, 1999.

[5] Al-Qadi, I.L., Brandon, T.L., Valentine, R.J., Lacina, B.A., and Smith, T.E. 1994. "Laboratory evaluation of geosynthetic-reinforced pavement sections." Transportation Research Record 1439, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 25-31.

[6] Montanelli, F., Zhao, A., and Rimoldi, P. 1997 "Geosynthetic-reinforced pavement system: testing and design." Proceedings of Geosynthetics, IFAI, Vol.2, Long Beach, California, USA, 619-632.

[7] Perkins, S.S. 1999. "Geosynthetic Reinforcement of Flexible Pavements: Laboratory Based Pavement Test Sections." Report No. FHWA/MT-99-001/8138, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

[8] Leng, J., Ju, T.J., and Gabr, M.A. 2002. "Characteristics of geogrid-reinforced aggregate under cyclic load." Transportation Research Record Research Council, Washington D.C. 29-35.

[9] Perkins, S.S. 2004. "Evaluation of geosynthetic reinforced flexible pavement systems using two pavement test facilities." Report No. FHWA/MT.

[10] Aran, S., 2006. "Base reinforcement with biaxial geogrid-long term performance." Transportation Research Record 1975, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.:115-123.

[11] Al-Qadi, I.L., Dessouky, S.H., Kwon, J., and Tutumluer, E. 2008. Geogrid in flexible pavements: validated mechanism. Transportation Research Record, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.,102-109.

[12] Henry, K., Clapp, J., Davids, W., Humphrey, D., and Barna, L. 2009. "Structural improvements of flexible pavements using geosynthetics for base course reinforcement." Report No. ERDC/CRREL TR-09-11, U.S. Army Corps of Engineers in conjunction with U.S. Department of Transportation, Pooled Fund Program, Federal Highway Administration, McLean, VA.

A Review of Studies on Permanent Deformation of Geogrid-Reinforced Pavements by Laboratory, Field and Accelerated Methods

Amin Modoudi¹

M.Sc. Student, Civil Engineering Faculty, Semnan University

Email: amin.modoudi@gmail.com

*^۲Mehdi Akbari

Assistant Professor, Civil Engineering Faculty, Semnan University

Email: akbari@semnan.ac.ir

Gholamali Shafabakhsh³

Professor, Civil Engineering Faculty, Semnan University

Email: ghshafabakhsh@semnan.ac.ir

Kamran Ganji⁴

M.Sc. Water Engineering and Hydraulic Structures, Civil Engineering Faculty, Shahrood University of Technology

Email: kamraneganji@gmail.com

Abstract:

To evaluate the performance and function of installing geogrids in pavement, various methods can be used such as laboratory evaluation methods (including tests of fatigue, grooving, creep, etc.), field study (cross-sectional execution in parts of different paths), accelerated pavement test (construction of tracks and paths Traffic with known characteristics and the use of large-scale laboratory equipment) as well as numerical modeling (including a variety of finite element methods, finite difference, etc.) can be mentioned. The purpose of this study is to review the results of some recent research on the reinforcement of stabilized and unstabilized layers of pavement with geogrid, the effectiveness of geogrid in reducing permanent deformation. Among the full-scale methods, the field method may be the best option to evaluate the performance of geogrid-reinforced pavements due to its adaptation to the conditions of the study area.

Keywords: Permanent Deformation, Pavement Reinforcement, Geogrid, Accelerated Pavement Test, Field Modeling

*^۲ Corresponding Author